

建設省建築研究所 杉村 義広

1 まえがき

支持ぐいに作用する負の摩擦力については、いくつかの理論解析的研究^(*)1~2)の他に、最近相次いで実施されている注目すべき実験的研究^(*)3~5)によってかなり多くの要素が実証的に解明され出しており、その研究成果をふまえて負の摩擦力を考慮したくいの設計手法が提案されるようになった^(*)6~8)。また、この種の設計手法は法規的にも採用される動向にある。しかし、一度設計体系を組み立てる段階になると、すでに解明されたと思われる要素に対してさえ、ある種の工学的判断を必要とする場合や未解明の問題が現出して、一義的に設計体系を確立することは困難である。さらに、通常のくい鉛直支持力の考え方に戻って再検討を加える必要が生じることもさえない。ここでは、設計的な観点に立って、負の摩擦力に関する各要素についての若干の考察と、計算例に基づく負の摩擦力についての設計上の安全率の考え方について私見を述べる。

2 負の摩擦力に関する各要素に対する考察

負の摩擦力に関する主要な要素を表-1に示す。これらの要素を大別すると、摩擦力度の大きさ、その深さ方向の分布状況(中立点の深さ)、先端支持力の大きさなどが上げられ、それにくいの施工方法が相互に関連しあう。また、群ぐい効果も大きな要素の一つとなる。さらに、くいの枝種によって各要素の解明程度が異なるが、表-1では便宜上、打ち込みぐいには鋼ぐいとPCぐい、埋め込みぐいには鋼ぐい、PCぐい、RCぐい、場所打ちぐいにはコンクリートぐいが含まれるものと考え、特殊なくいは各々相当のものに準ずると想定して、各要素の現状における研究上の解明程度を示してみた。前述の負の摩擦力に関する実験的研究は、その殆どが打ち込みぐいに相当するものに対する結果であり、その意味で打ち込みぐいについてはかなり解明程度は高いといえる。

摩擦力度の大きさについては、まず、くい面における付着応力と、一般的な地盤内せん断面におけるせん断応力とのいずれで考えるかという問題があるが、現状では、一応両者が同等であるとしてせん断応力で考えており、最大値すなわちせん断強さの値で考えられている。したがって、粘着力と内部摩擦角(厳密にはくいと土との摩擦角でなければならない)を知ることが必要となるが、これらはまとめて有効鉛直応力に対する側圧係数的表示で表わされることもある。また、砂および砂礫層に対しては簡便法としてN値を用いた表示がなされることもある。いずれにしても、ここでは土質試験の精度など結果の信頼性に対する問題を考慮する必要がある。最大値を採用する理由は、主として負の摩擦力の性質として設計的に妥当であるという点にあるが、逆に正の摩擦力として最大値を採用してよいかという問題もある。また、負の摩擦力は常に池下量との関係で論じられるべきであり、さらに時間的要素を無視できない。例えば年間池下量の大きく異なる2つの地域で同じ大き

さの負の摩擦力を採ることは不合理であろう。盛土荷重などによって沈下速度を変えた実験的研究の例もあるが、この点に関しては十分解明されたとは言いがたい。

中立点の深さについては、くい先端支持層の性質によって定性的にはかなり明確に設定できるようになったと考えられる（例えば岩盤なら $1L_a$ 、砂礫層なら $0.8 \sim 0.9L_a$ 、 L_a は圧密層下底までの深さなど）。ただし、場所打ちぐいや埋め込みぐいなどの場合（先端スライムの問題など）や時間的要素を含めた詳細な検討を必要とする場合は、未だ殆ど解明されていない。

先端支持力については、通常支持層が砂または砂礫層であることが多いので、Meyerhof の N 値を用いた簡略式 ($40\bar{N}A_p$) を基底とした設計式が提案されている。ここでは \bar{N} 値および係数の採り方、先端開放ぐいの場合の閉塞効果などが再検討の対象となっているが、とくに埋め込みぐいなど最近になって開発され出した施工法によるくいについては、これらの資料が不足している現状であり殆どが未解明である。

その他では、排除土量による負の摩擦力の変化の問題や群ぐい効果など困難な問題があるが、設計的にみて群ぐい効果についての注目すべき考え方の提案がある。

以上の諸点を考慮すると、くい施工法の差異による影響と並んで、基本的な負の摩擦力の発生メカニズム（主として時間的要素）の解明が十分とは言えない現状であることが解る。したがって、すべての点で研究的厳密性を備えた設計は不可能に近いと言わざるを得ないことになる。例えば、中間に砂層を挟む非常に深い圧密沈下層を持つ地盤で、埋め込みぐいとして使用された大口径ぐいの設計をする場合などがこれにあたる。しかし、時間的要素などは負の摩擦力として最大値を採用することでカバーし、くい施工法に関しては現在知られている知識の範囲内で工学的判断によって、すでに解明されたものに対する低減率を加味して準用するという観点に立てば、ある種の設計方針を作ることは可能であろう。逆に言えば、設計体系を設定できる段階に到達してはいるが、研究的には未だ数多くの問題点が残っている現状であるということになる。

3 支持ぐいの負の摩擦力に対する計算例

支持ぐいの実例に対する計算結果の一例を図-1 に示す。計算方法および手順

表-1 負の摩擦力に関連する各要素の解明程度

関連要素	くい種類		打ち込み	埋め込み	場所打ち
	種類	状態			
摩擦 力 度	負の最大値	沈下量との関係	B	C	C
		粘土	B	C	C
		砂	B	C	C
	正の最大値	砂礫	B	C	C
		粘土	A	B	B
		砂	B	C	C
	砂礫	B	C	C	
時間の影響		C	C	C	
先端 支持 力	先端支持力度	粘土	A	C	C
		砂	A	B	B
		砂礫	A	B	B
	先端閉塞効果		B	C	-
中立点の深さ		A	C	C	
排除土量の影響		B	C	C	
群ぐい効果		A	B	B	

- A: ほぼ解明され、妥当と思われるもの
- B: ある程度解明されているが不安もあるもの
- C: 殆ど解明されていないと思われるもの

は、日本建築学会「建築基礎構造設計規準・同解説」に示されたものに従っている。くいは37.6mの鋼管打ち込みぐいである。圧密層下底は34mであると考え、中立点深さは0.9Laをとっている。砂層の摩擦力はN値からの推定値を、粘土層では土質試験結果がないものとして、上述の規準で提案されている式を用いて層の間での値を平均値として採用した。先端支持力については、閉塞効果を考慮し、N値はくい先端より下へ1D、上へ4D間の平均をとっている。

計算結果として、負の摩擦力が約250t程度になり、上部構造のくい一本あたりの長期設計荷重100tの2.5倍程度の大きさが得られた。この傾向は他の計算例でもみられ、圧密層下底が40m程度であると例外なく設計荷重の数倍の値を示す。これに対し、先端の極限支持力と正の摩擦力の和は約280tとなり、ほぼ負の摩擦力に相当し、上部構造の荷重分相当だけ不足する結果となっている。くいの極限支持力は下向きの荷重の合計に対し

0.8倍である。また、中立点におけるくい枝の短期応力度は荷重に対し0.96倍であり、くい枝としてもかなり危険な結果となっている。事実、このくいに支持された上部建物には、不同沈下による被害が顕著に認められており、この計算法によっても十分説明できる結果となっている。

3 負の摩擦力に対する設計上の安全率について

図-1の計算例と同様の方法で計算した結果を図-2に一覧する。これらはすべて実例(単ぐいの場合として計算されているが)であり、観察による被害程度と比較されている。図中くいの極限支持力およびくいの短期応力度の荷重に対する比は一種の安全率として考えることができる。ただし、以上に述べてきたように種々の不確定要素を、設計的な工学的判断によって相互に調整しているので、いわば単純化あるいは計算上の安全率であるといえる。図-2より判断するとこの計算例による場合、一応くいの短期応力度に対して

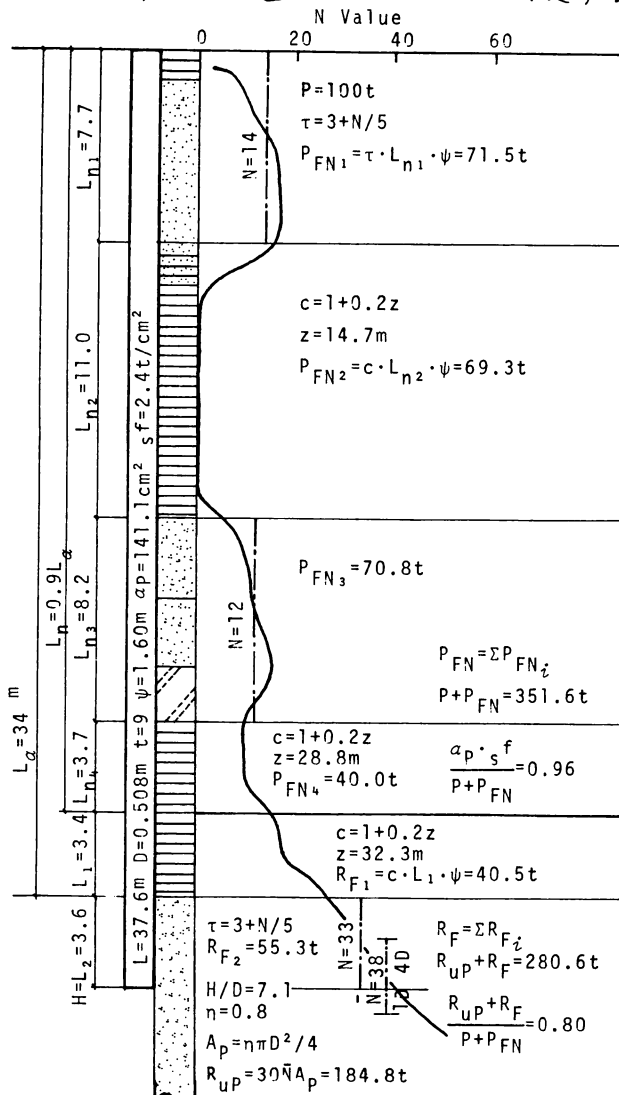


図-1 負の摩擦力に対する計算例

ケース番号	くいの種類	くいの諸元			支持層への掘入れ (m)	長期設計荷重 (t)	先端形状	$\left. \begin{array}{l} \bullet (\text{被害あり}) \\ \circ (\text{被害なし}) \end{array} \right\}; \frac{R_{UP} + R_F}{P + P_{FN}} + ; \frac{a_p \cdot s \cdot f}{P + P_{FN}}$
		全長 L (m)	外径 ϕ (mm)	肉厚 t (mm)				
1	SP	37.6	508	9	3.6	100	OP	
2	SP	39.2	457.2	9	4.2	90	OP	
3	SP	39.2	508	9	4.2	100	OP	
4	SP	33.2	355.6	9	3.7	70	OP	
5	SP	33.0	508	9	3.5	100	OP	
6	SP	41.0	508	9	3.0	100	OP	
7	SP	64.0	660	10	4.0	100	OP	
8	SP	46.0	508	9.5	3.0	100	OP	(2.65)
9	SP	20.5	660	10.5	1.5	100	OP	
10	SP	21.0	1016	10.5	2.0	120	OP	
11	SP	66.6	508	9	2.0	80	OP	(3.0)
12	IC	28.7	800	—	0.6	134	CL	
13	SP	28.7	400	7.9	0.6	27	OP	
14	RC	23.0	350	—	1.0	25	CL	
15	PC	31.0	350	6.5	4.0	37	CL	
16	SP	25.0	355	6.5	1.2	55	OP	
17	PE	28.0	510	—	0.7	55	CL	
18	PE	28.0	510	—	2.8	55	CL	
19	PE	18.0	500	—	1.0	50	CL	
20	SP	27.5	355.6	9	1.2	50	OP	(2.66)

SP: 鋼管くい PC: PCくい RC: RCくい OP: 閉端
 IC: 場所打コンクリートくい PE: ペテスガルくい CL: 閉端

図-2 負の摩擦力に対する設計上の安全率(単くいの場合)

は1.0, くいの極限支持力に対しては1.2程度を考慮しておくことが妥当と思われる。この計算法では, 荷重側になるものは極力最大値をとるようにしていること, 計算上の安全率をとることによって正の摩擦力を負のそれと区別することになることなどを考えると, やや厳しい検討法と言えるかも知れない。しかし, 不確定要素の多い場合の設計理念としては, 極力不利な方向で考えておき, 解明される要素の増大とともに適宜修正することが常道であろう。その意味では, これらの係数は将来当然修正されるべき性質のものと考えておく必要がある。

謝辞 この報告中の計算例は, 建設省建築研究所「負の摩擦力を考慮したくいの設計指針検討委員会」各委員提供の資料に基づいた。ここで関係各位に心から謝意を表します。

- 文1) 山角, 長岡, 横尾: 群くいに作用する Negative Skin Friction の理論解, 日本建築学会論文報告集 No150, 1968 など
- 2) 西田義親: 群杭基礎に生じる間隙水圧の計算, 土木学会論文集 No129, 1966 など
- 3) 遠藤正明: ネガティブフリクション, 金岡パイ研究委員会報告; 土質基礎工学ライブラリー-6, 土質工学会 1969.9
- 4) 日本国有鉄道東京第三工務局: 武蔵野操場新設二連管および群杭のネガティブフリクションに関する測定報告書 1973.3
- 5) 井上嘉信, 小林幸男: 東京下町低地におけるネガティブフリクションの測定例 (No1, No2) 日本建築学会大会 1974.10
- 6) 日本建築学会: 建築基礎構造設計規準・同解説 第30条 1974
- 7) 小泉安則: 地盤地下地帯における基礎くいの設計 BRI research news No12 建築技術 1971.11
- 8) 阪口理: 負の摩擦力を考慮したくいの設計指針 BRI research news 建築技術 1974.11